

DIFICULTADES EN LA COMPRENSIÓN DE EQUILIBRIO QUÍMICO EN ESTUDIANTES DE PRIMER AÑO UNIVERSITARIO

Eje 5: Exploraciones diagnósticas sobre diversas problemáticas educativas

Vetere, Virginia¹; Cappannini, Osvaldo^{2,3} y Espíndola, Carlos^{2,4}

¹ Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Química, UNLP, La Plata, Argentina.

² Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, La Plata, Argentina.

³ Grupo de Didáctica de las Ciencias, IFLYSIB (CONICET-UNLP), Calle 59 N° 789, La Plata 1900, Argentina.

⁴ Cátedra de Didáctica Específica II, Departamento de Ciencias Exactas y Naturales, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, UNLP, La Plata, Argentina.

E-mail: cappa@iflysib.unlp.edu.ar

Palabras claves: EQUILIBRIO QUÍMICO, NIVELES DE REPRESENTACIÓN, EVALUACIÓN.

INTRODUCCION

La idea de equilibrio estructura conceptos básicos en Química por lo que resulta central en su aprendizaje. Una de las razones para que aparezcan dificultades en estudiantes, secundarios y universitarios, es que dicha idea implica un alto nivel de abstracción exigiendo otros conocimientos previos (Quílez, 2006). La lista de dificultades asociadas resulta considerable y muchos investigadores han trabajado sobre ellas. Una adecuada revisión se puede encontrar en Quílez (2006) y Raviolo y Martínez Aznar (2003) donde se indican, entre otras: indiferenciación entre masa y concentración; confusión entre coeficientes estequiométricos y cantidades en una reacción; incapacidad en el manejo de la proporcionalidad; inadecuada comprensión microscópica de reacción química; no distinguir composición inicial y de equilibrio; no admitir la coexistencia de todas las especies; considerar al equilibrio como estático; desconocimiento de las condiciones en las que K_c es constante y el significado de su valor. Algunos contextos de aula las refuerzan Quílez (2006): 1) falta de claridad en distinguir la representación simbólica de una reacción química de su realidad en el laboratorio; 2) confusión sobre terminología específica (como “desplazamiento” o “balance”); 3) excesivo énfasis en resoluciones algorítmicas de ejercicios (lleva a memorizar “estrategias tipo”); 4) exámenes centrados en esa resolución algorítmica; 5) dificultades conceptuales de los mismos docentes trasladadas a los

estudiantes. Lo que orientó el presente trabajo fue indagar si, en estudiantes de primer año de la Facultad de Ciencias Exactas, existían dificultades similares a las registradas en otros ámbitos. Esta inquietud surgió a partir de la identificación, por parte de los docentes de un curso de primer año, de dificultades conceptuales al momento de encarar las actividades sobre los temas indicados. Aquí se muestran resultados iniciales obtenidos de encuestas realizadas a estudiantes iniciando su recorrido universitario, en torno a equilibrio químico y reacciones reversibles. Las entrevistas posteriores a una muestra de los encuestados, se encuentran en análisis y complementarán más adelante lo mostrado en esta comunicación.

METODOLOGÍA

Se encuestó a 36 estudiantes cursando el final de Química General (primer semestre, 2016). La encuesta (ver Anexo 1), exploratoria, contiene cuatro situaciones confeccionadas adecuando problemáticas de un taller sobre equilibrio químico durante la Reunión de Enseñanza de Química 2003 y pautas indicadas en Raviolo y Martínez Aznar (2003). La cuestión 1 incluye una reacción química entre dos gases pidiéndose indicar, sobre esquemas provistos, dónde se encontrarían las especies al alcanzar el equilibrio. Inicialmente, en un espacio cerrado (1b, válvula cerrada) y luego ampliando el espacio hacia otro semejante y vacío (1c, válvula abierta). La 2, plantea la ecuación química de una reacción en equilibrio (con K_c baja) y requiere elegir, entre esquemas con partículas, aquél que mejor representaría la situación de equilibrio. La 3, sobre un sistema genérico (a temperatura y volumen constante) con partículas de reactivos y producto en equilibrio químico, pregunta si K_c será mayor, menor o igual que inicialmente al agregar más cantidad de uno de los reactivos. La 4 presenta un esquema representando una reacción química en equilibrio y se pide elegir aquél esquema adicional que mejor representaría una nueva situación de equilibrio luego de agregar más cantidad de uno de los componentes del sistema.

RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS INICIAL

%	I	II	III	IV	V	VI	VI	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
Item 1(b)	5,6	22,2	2,8	2,8	36,1	5,6	2,8	2,8	5,6	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Item 1(c)	5,6	16,7	8,3	2,8	2,8	2,8	2,8	5,6	2,8	2,8	33,3	5,6	5,6	2,8

Tabla

1. Porcentaje de respuesta al ítem 1 para las opciones de los estudiantes (Anexo 2).

La Tabla 1 muestra los porcentajes de respuestas de los estudiantes a las dos situaciones del ítem 1. La descripción de opciones elegidas por los estudiantes se puede ver en el Anexo 2. Para el 1(b) (el sistema con la válvula cerrada) la opción correcta “II” tuvo un 22,2 % de adhesión, mientras la opción “I”, con una frecuencia de 5,6%, considera que ningún componente se encuentra en alguno de los recipientes lo que indicaría que no se entendió el problema o no se arriesga alguna respuesta. La opción “V” tuvo máxima aceptación (36,1 %) y considera solo los reactivos presentes en el recinto inicial, como si una válvula cerrada impidiera la reacción. Una interpretación posible es que se transfirió lo simbolizado en la ecuación química a los recipientes (izquierdo para reactivos y derecho para productos) con imposibilidad de llegar a los productos. En esa interpretación los símbolos I_2 e H_2 representarían moléculas. Para el 1(c) (válvula abierta), el mayor porcentaje es para la opción “XI” con 33,3 % de las encuestas. Aparecen producto y reactivos en ambos recipientes (situación correcta) y la ausencia de coeficientes estequiométricos podría implicar, como en el enunciado, una consideración macroscópica. Como en el caso anterior, un 5,6 % presenta ambos recintos vacíos implicando que no se entiende el esquema o no se arriesga respuesta. En la categoría “II” con 16,7% se proponen reactivos en el recipiente de la izquierda y producto en el de la derecha, de acuerdo a las proporciones estequiométricas. Esta disposición implicaría nuevamente una reproducción de lo planteado en la ecuación química. Ambas cuestiones parecen indicar que los estudiantes presentan dificultades correspondientes a: lo simbólico (relación entre esquema y estequiometría, por ejemplo), lo conceptual (no comprender el significado de K_c , por ejemplo) y los niveles de consideración de los fenómenos (macroscópico, como sustancias, o microscópico, moléculas). Así, para el caso (b) surgen posibles dificultades en lo simbólico (opciones “XI” y “XIII”), en el manejo de niveles de consideración (“VII”) o bien ambos tipos de dificultades unidas (“III”, “IV”, “V”, “X” y “XIV”). Existen también aquellas que parecen aunar dudas en lo conceptual, lo simbólico y los niveles de consideración (“VI”, “VIII”, “IX” y “XII”). En el caso (c) parecen verse dificultades en lo simbólico (“XI”), en lo conceptual (“IV” y “VIII”), en lo conceptual y en lo simbólico combinados (“III”; “V”, “VII” y “X”) o bien inconvenientes en lo simbólico y en los niveles de consideración (“XII” y “XIII”). Asimismo se perciben obstáculos de los tres

tipos en las opciones “II”, “VI”, “IX” y “XIV”. La Tabla 2 muestra lo registrado para las cuestiones 2, 3 y 4:

Situación	(a)%	(b)%	(c)%	(d)%	(e)%	(ab)%	(bc)%
2	19,2	11,1	55,6	19,2			7,7
3	2,7	8,3	88,9				
4	8,3	66,7	8,3	5,6	8,3	2,8	

Tabla 2. Porcentaje de respuesta de los estudiantes a las cuestiones 2, 3 y 4 de la encuesta (ver Anexo 1). Las columnas (ab) y (bc) implican haber incluido ambas respuestas.

Para la cuestión 2, en la opción (a) con un 19,2% de adhesión, aparece un conjunto de tres tipos de partículas (correspondientes a NO, O₂ y NO₂) con la proporción de NO₂ (3 partículas) más baja que la de O₂ (6 partículas) y la de NO (5 partículas), para K_c baja. La cantidad de partículas difiere de la cantidad estequiométrica de cada una en la ecuación química, reflejando la diferencia entre ambos conceptos. Aquí aparece el significado de K_c, como relación de concentraciones, y su diferencia con las cantidades estequiométricas. La opción (b) (11,1%) indica 4 partículas que representan NO₂, junto a 4 partículas de NO y 2 partículas de O₂, en proporción doble de la estequiométrica y correspondientes a K_c menor que la unidad, aunque esta proporción no es mejor que la opción (a) con K_c más baja aun. En la opción (c) mayoritaria (55,6%) se mantienen las proporciones estequiométricas de reactivos y productos, lo que indicaría una posible confusión al considerar las cantidades expresadas en K_c con los coeficientes estequiométricos. El valor de K_c en este caso daría 1 (que Raviolo y Martínez Aznar (2003) indican como concepción alternativa para equilibrio químico, remitiendo a la condición de equilibrio mecánico en una balanza), evidenciando que el concepto de K_c no quedó claro y la diferencia entre la estequiometría y el sistema en equilibrio no existiría. El 19,6 % de los estudiantes responde a la opción (d), que no guarda relación con la estequiometría de la reacción, con una alta K_c y 7 moléculas de producto (NO₂), 3 moléculas de O₂ y 3 moléculas de NO. Esto reflejaría que no utilizaron el concepto de K_c ni estaría clara la diferencia entre estequiometría y el sistema en equilibrio. Moncaleano y otros (2003) y Raviolo y Martínez Aznar (2003) han enfatizado en la dificultad de entender el verdadero sentido del valor de K_c y en la frecuente asociación entre esta constante y la velocidad de la reacción. En la situación 3, las opciones (a) y (b)

relacionan la constante con la temperatura. La opción (a) (aumento de la constante) alcanza un 2,7 % sin argumentación. Probablemente esté sesgada por el principio de Le Chatelier: ante el agregado de un reactivo se formaría más producto, cambiando la relación respecto de los reactivos. La disminución de la constante, opción (b) con 8,3 %, podría estar relacionado con la mayor cantidad de reactivo agregada al sistema que daría una relación para K_c más bajo que el inicial aunque tampoco aparece argumentado. La opción mayoritaria fue la correcta (c), con 88,9%, que considera el valor de K_c invariable a temperatura constante. Quílez, 2006 y Raviolo y Martínez Aznar, 2003 han destacado una incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier y asociación masa-concentración en el equilibrio además de dificultades para predecir cambios en equilibrios heterogéneos. La opción (a) de la situación 4 (8,3 %) muestra, en el nuevo equilibrio, mayor cantidad del producto agregado y también más reactivo que parece haberse producido según Le Chatelier. La proporción del conjunto no guarda relación con la del equilibrio inicial, lo que denotaría falta de comprensión del significado de K_c . La opción correcta (b), mayoritaria (66,7 %), indica una mayor cantidad de producto que la inicial y reactivos en la misma relación dada por la constante K_c evidenciando para este grupo una adecuada comprensión del significado de la constante en el contexto de esta situación. Un 8,3 % considera la opción (c), que evidenciaría no comprender el problema pues repite la situación inicial no cumpliendo con la premisa planteada. En tanto la opción (d) (5,6 %) propone igual cantidad de reactivo y de producto (5 partículas de cada uno), por lo que la relación obtenida para una posible constante es 1 conduciendo a ideas alternativas ya señaladas previamente (Raviolo y Martínez Aznar, 2003). En el caso (e) (8,3 %) la cantidad de producto es mayor que la inicial, dado el agregado del mismo aunque no ha habido cambio en la cantidad de reactivo: el producto agregado no reacciona según la reacción inversa para dar reactivo y, entonces, el nuevo valor de K_c difiere del inicial. Elegir esta opción revelaría que no se comprendió el significado de K_c ni los procesos relacionados con el equilibrio químico. Esto resulta coincidente con lo señalado por Moncaleano y otros (2003) y Sánchez y otros (2006): los alumnos se centran en el cálculo de la constante, con una visión operativa, al explicar la constante de equilibrio (K_c) en términos del cociente entre productos y reactivos.

CONCLUSIONES

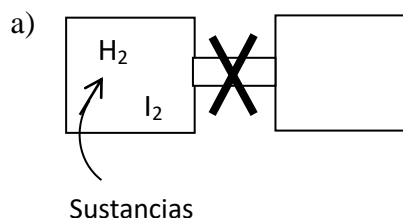
En lo expuesto se evidencian dificultades para interpretar situaciones de equilibrio químico más allá del cálculo de K_c en distintas reacciones. Los estudiantes reflejan un conocimiento no significativo. Les resulta difícil interpretar lo indicado por K_c , que no constituye una herramienta de análisis ya que la reducen a un valor numérico inmutable (compatible, quizás, con un contenido coloquial del término “constante”). Otro aspecto que surge de lo registrado se relaciona con las representaciones simbólicas: no está claro qué significa la ecuación que representa a la reacción y cómo se vincula con el nivel macroscópico ya que un número significativo interpretó que la válvula cerrada impedía la reacción. Tampoco se evidencia correlación con el nivel microscópico. Resulta importante destacar que estos estudiantes cubrieron satisfactoriamente lo exigido por los exámenes del curso, contrastando abiertamente con lo registrado tanto por la encuesta como por lo surgido durante las entrevistas y poniendo en duda los instrumentos de acreditación. Si bien falta integrar lo aquí mostrado con el análisis de las entrevistas, se puede concluir que las dificultades registradas no difieren de las identificadas por otros investigadores.

REFERENCIAS

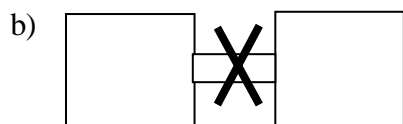
- Moncaleano, H., Furió, C., Hernández, J. y Calatayud, M. (2003). Comprensión del equilibrio químico y dificultades en su aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congreso, pp. 111-118.
- Quílez-Pardo, J. (2006). From chemical forces to chemical rates: A historical/philosophical foundation for the teaching of chemical equilibrium. *Sci. & Educ.*, 18(9), pp. 1203-1252.
- Raviolo, A. y Martínez Aznar, M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas. *Educación Química*, 14(3), pp. 159-165.
- Sánchez, L., Martín, A., Roble, M. y Speltini, C. (2006). ¿Cómo explican los estudiantes el equilibrio químico? *VII Jornadas de Enseñanza Universitaria de Química*, pp. 72-77.

ANEXO 1

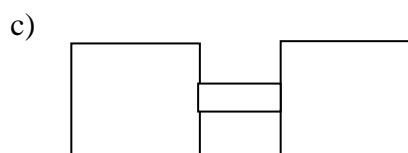
- 1) En la figura se muestran los reactivos introducidos inicialmente (más de una molécula de cada uno) en un recipiente. Estos reactivos reaccionan de acuerdo a: $I_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$



Indicá, en el esquema (b) y de acuerdo a la reacción anterior, las especies de la misma forma que se hizo en (a), que se encuentran presentes en el equilibrio con la válvula que une a ambos recipientes cerrada.

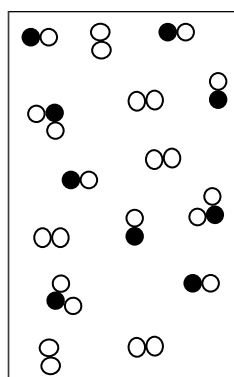


Ídem que la situación anterior, indicá en (c) ahora con la válvula abierta.

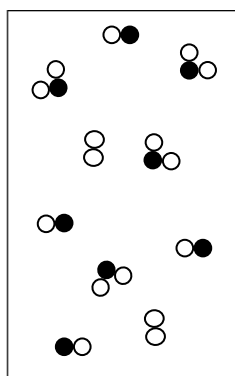


2) Para la siguiente reacción: $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ K_c baja

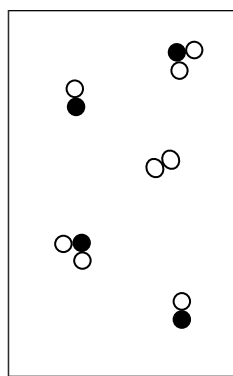
Si punto negro “•” representa un átomo de N y círculo blanco “○” uno de O, ¿cuál de los siguientes dibujos representa mejor una situación de equilibrio?



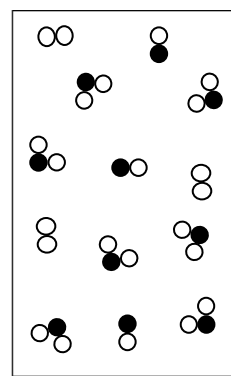
(a)



(b)

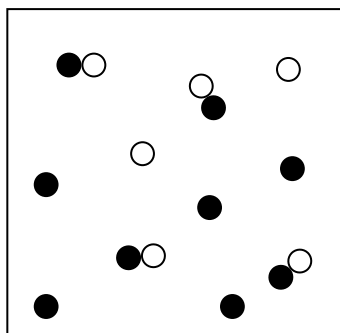
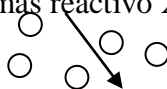


(c)



(d)

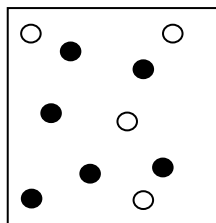
3) Si la siguiente reacción en equilibrio $\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{XY}(\text{g})$ es perturbada al añadirse más reactivo X, a temperatura y volumen constante, tal como aparece en el esquema.



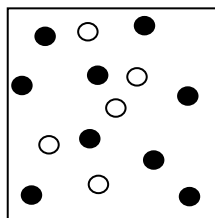
¿Cómo será la constante de equilibrio en este caso comparada con la de la situación inicial?

a) Mayor b) Menor c) Igual

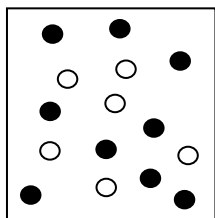
4) La siguiente reacción: círculo \bigcirc (g) \rightleftharpoons punto \bullet (g); alcanza el equilibrio tal como muestra la figura:



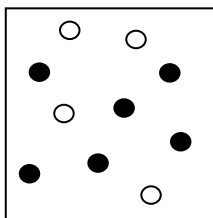
Si fue añadido algo de punto \bullet al sistema en equilibrio, a temperatura constante, ¿cuál de las siguientes figuras representa mejor la nueva situación de equilibrio?



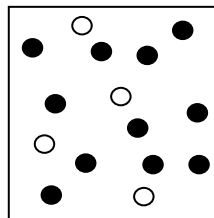
(a)



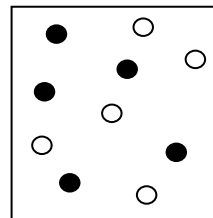
(b)



(c)



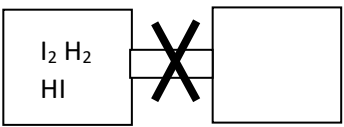
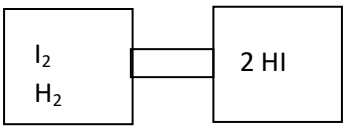
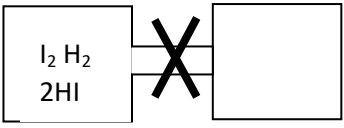
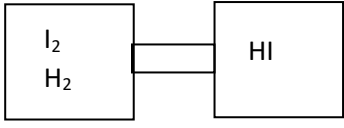
(d)

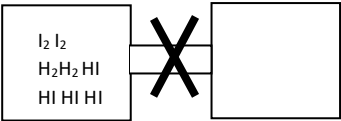
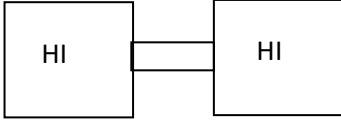
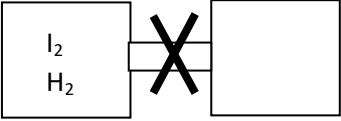
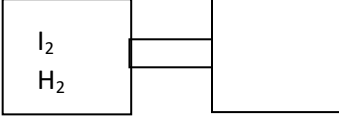
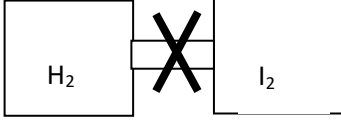
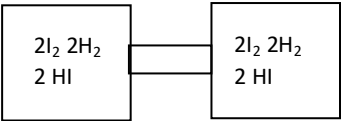
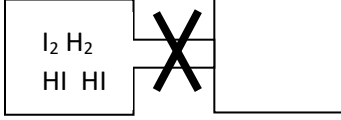
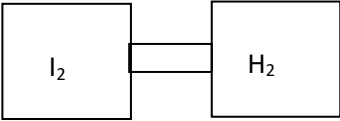
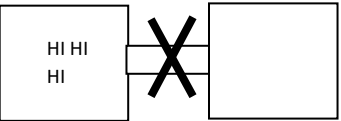
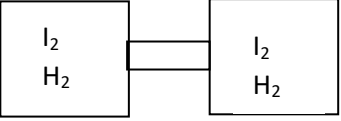
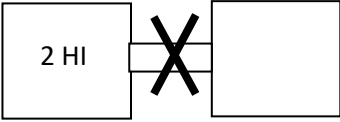
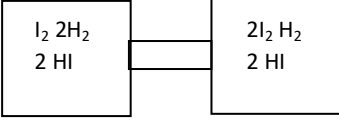


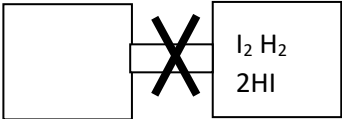
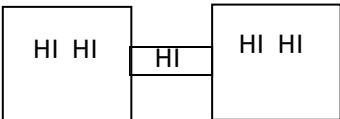
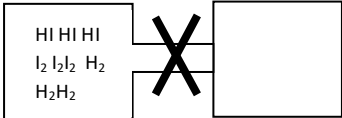
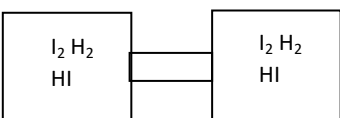
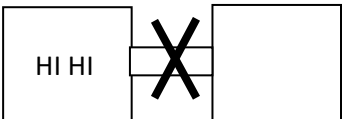
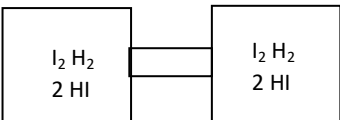
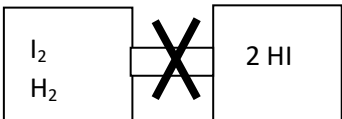
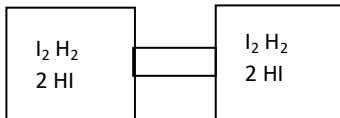
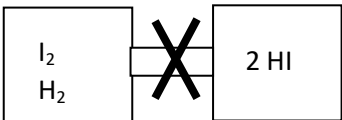
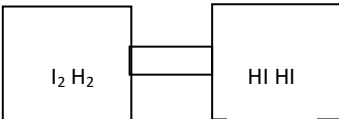
(e)

ANEXO 2.

Categorías de respuestas de los estudiantes al ítem 1 de la encuesta realizada en 2016.

Opción	1 (b)	1 (c)
I	Ningún componente en los recipientes, se puede traducir como no contesta.	Ningún componente en los recipientes, se puede traducir como no contesta
II	 <p>Reactivos y productos se encuentran en el mismo recipiente (correcta).</p>	 <p>Reactivos a la izquierda y producto a la derecha, en las proporciones estequiométricas .</p>
III	 <p>Sigue lo indicado en la relación estequiométrica).</p>	 <p>Reactivos a izquierda y producto a derecha</p>

IV	 <p>Reactivos y productos duplicando la proporción estequiométrica</p>	 <p>En ambos lados aparece sólo HI: conversión completa de los reactivos</p>
V	 <p>Solo los reactivos en el recipiente</p>	 <p>Reactivos solo a la derecha</p>
VI	 <p>A izquierda H₂ y a derecha I₂</p>	 <p>Iguals cantidades de reactivos y producto a ambos lados</p>
VII	 <p>Reactivos y producto a la izquierda, con la relación estequiométrica pero como partículas independientes.</p>	 <p>Reactivos aparecen separados</p>
VIII	 <p>Sólo producto en el recipiente</p>	 <p>Reactivos se distribuyen en ambos recipientes como sustancias gaseosas pero no reaccionan químicamente</p>
IX	 <p>Solo 2 IH a la izquierda</p>	 <p>Reactivos y producto a ambos lados pero las cantidades de reactivos</p>

		cambian alternativamente
X	 <p>Tanto reactivos como producto en el recipiente de la derecha</p>	 <p>Solo producto en todo el esquema, incluso en el conducto que comunica ambos recipientes</p>
XI	 <p>Tanto reactivos como producto a la izquierda, de modo no estequiométrico</p>	 <p>Producto y reactivos en ambos recipientes de modo no estequiométrico</p>
XII	 <p>Solo producto a la izquierda</p>	 <p>Producto y reactivos en ambos recipientes de modo estequiométrico</p>
XIII	 <p>Reactivos a la izquierda y producto a la derecha</p>	 <p>Producto y reactivos a ambos lados con coeficientes estequiométricos</p>
XIV	 <p>Reactivos a izquierda y producto a derecha en la relación estequiométrica</p>	 <p>Reactivos a la izquierda y producto a la derecha</p>